



# СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

**Теймураз Хазарадзе, Виктор Гейнце**

Представлена система автоматизации ТРОЛЛЬ, внедренная на Саянском алюминиевом заводе. Большое внимание уделено техническим аспектам применения контроллеров MicroPC в крупном проекте автоматизации. Проект был реализован фирмой ТоксСофт в течение 1996-97 годов.



Панорама Саянского алюминиевого завода

## Особенности поставленной задачи

Задача автоматизации состоит в разработке, изготовлении и внедрении оборудования и программного обеспечения для управления процессом производства алюминия электрохимическим способом.

Производство алюминия является многоступенчатым процессом, включающим в себя производство сырья, получение алюминия электролизом криолито-глиноземного расплава и литье заготовок для дальнейшей переработки. Нас интересует производство алюминия в процессе электролиза. Электролиз алюминия происходит в специальной ванне, называемой электролизером



Общий вид объекта автоматизации. Цех электролиза

(примерные размеры от 3×6×2 до 5×12×4 м). В каждом корпусе алюминиевого завода в среднем находится 80-100 ванн, включенных последовательно в цепь постоянного тока. На Саянском алюминиевом заводе (СаАЗ), стояла задача автоматизировать два корпуса, в каждом из которых находится 98 электролизёров.

С точки зрения автоматизации, электролизёр представляет собой объект, с которого снимается информация о его состоянии и выдаются сигналы для управления оборудованием, установленным на нем. Анализируемая информация включает в себя текущее напряжение на ванне (обычно 4-5 В, доходит до 80 В) и силу тока (порядка 172000 А). Учитывая, что все 196 электролизёров включены последовательно, достаточно измерять ток в одном месте. Совокупность соединенных последовательно электролизёров часто называют серией.

Конструктивно электролизёр (рис. 1) представляет собой ванну электролиза с неподвижным катодом ① и подвижным анодом ②, приводимым в движение двумя электродвигателями ③ трехфазного тока мощностью 3 кВт. Кроме того, на электролизёрах установлены системы автоматического питания гли-

нозёмом (АПГ). Система АПГ предназначена для подачи сырья (глинозема) в область электролиза. Подача осуществляется парами «пробойник + дозатор». При срабатывании пробойник ④ пробивает корку ⑥ над жидким электролитом ⑦ и дозатор, установленный в нижней части бункера с глиноземом ⑤, засыпает в ванну фиксированное количество (3-8 кг) сырья. Таким образом, управление режимом работы электролизёра осуществляется следующими двумя путями.

1. Изменение положения анода, то есть его высоты над расплавленным алюминием ⑧. Это так называемое межполюсное расстояние (МПР) влияет на сопротивление электролита.
2. Изменение интервала между подачами доз глинозема (обычно порядка 2-3 минут), что, в свою очередь, влияет на концентрацию глинозема в электролите.

Основной задачей системы является расчет и поддержание оптимальных значений этих параметров. Для управления электролизёром рядом с ним устанавливается блок управления (БУ), который измеряет напряжение ванны, получает значение текущего тока и управляет двигателями привода анода и пневматическими клапанами включе-

ния пробойников и дозаторов. В современных системах один блок управляет двумя электролизёрами.

Главной отличительной особенностью системы автоматизации электролиза алюминия является наличие множества однотипных объектов управления. В рассматриваемой системе наличие 196 электролизёров привело к необходимости изготовить ровно 100 блоков управления. Количество блоков управления даже в рамках одного проекта приближается к серийному, и соответственно возрастают требования к цене, надежности и удобству эксплуатации. Кроме того, к системе предъявляется ряд особых требований, связанных с условиями её эксплуатации, а именно:

- наличие сильного постоянного магнитного поля (БУ работает в непосредственной близости от проводника тока на 100-300 кА);
- работа в широком температурном диапазоне (на сибирских заводах, к которым относится СаАЗ, диапазон рабочих температур БУ составляет от -40 до +55°C);
- отсутствие возможности заземления – каждая ванна фактически «висит в воздухе», и напряжение между ванной и землей доходит до 800-

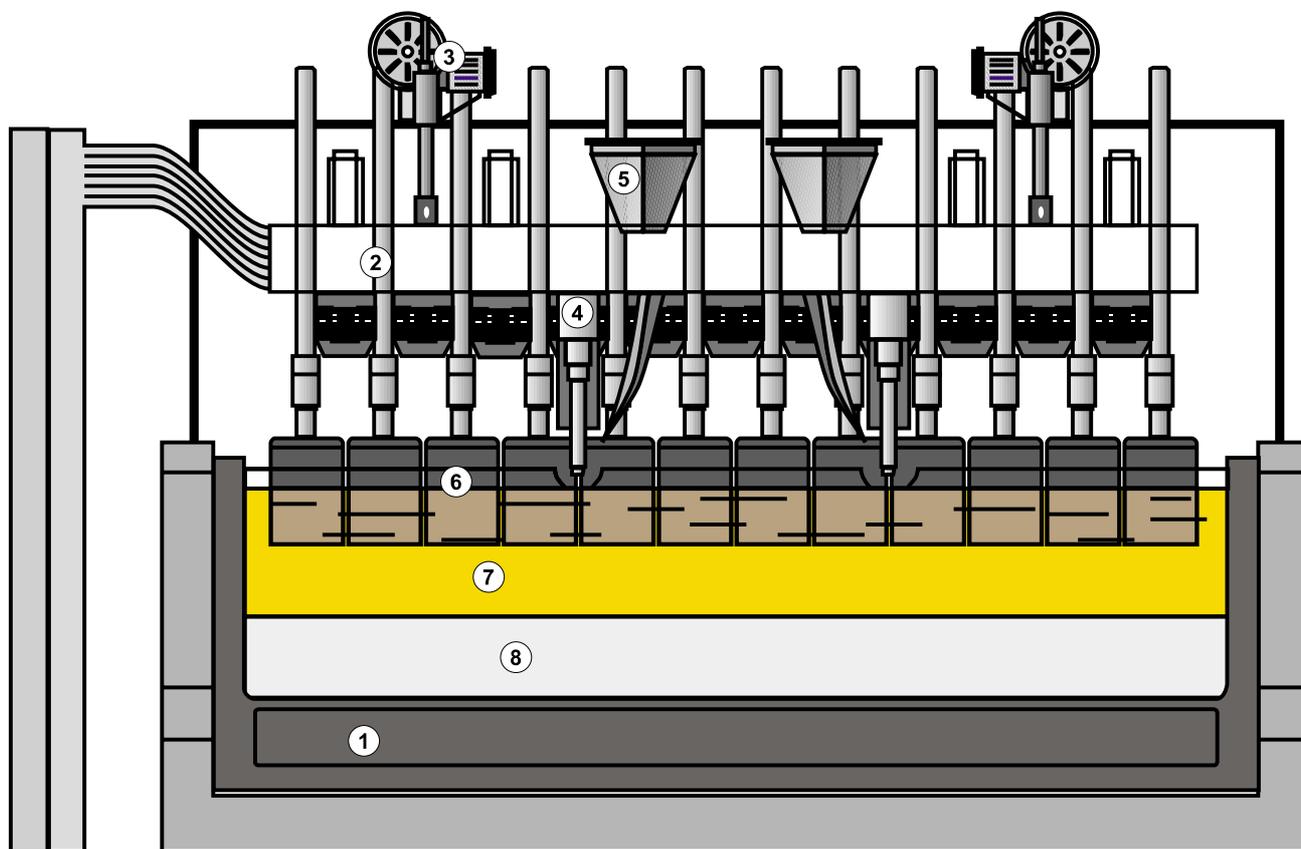


Рис. 1. Так устроен электролизёр, применяемый в производстве алюминия

Здесь 1 - неподвижный катод; 2 - подвижный анод; 3 - электродвигатель; 4 - пробойник; 5 - дозатор; 6 - корка; 7 - электролит; 8 - расплавленный алюминий

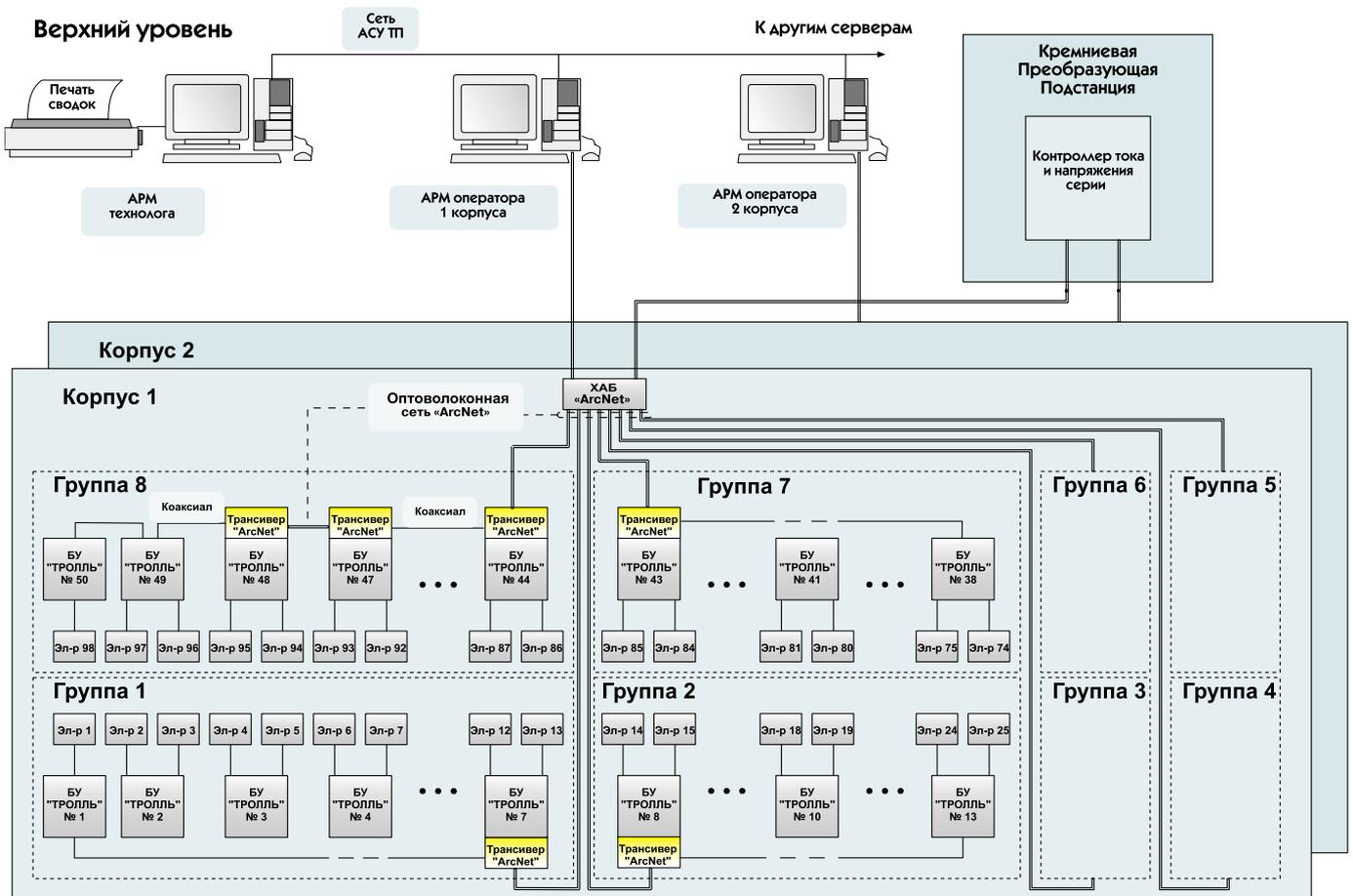


Рис. 2. Структурная схема АСУ ТП электролизного цеха

- 900 В при возможном токе до сотен тысяч А;
- наличие в воздухе мелкодисперсной пыли, содержащей глинозем и фтористые соли, а также газообразного фтороводорода (фтор является одним из самых активных окислителей);
  - сильные электромагнитные помехи, вызванные работой оборудования цеха (краны, напольная техника и т. п.).

### Структурная схема АСУ ТП

Общая структурная схема системы ТРОЛЬ приведена на рис. 2.

Основным элементом системы являются блоки управления (БУ) электролизёром. Каждый блок управляет двумя ваннами, кроме БУ, установленных у торцов корпусов, каждый из которых управляет одной ванной. Соответственно, в каждом корпусе на 98 ванн (1 и 2 корпуса электролизного цеха) установлено по 50 БУ. Все блоки объединены в единую сеть корпуса электролиза. В эту же сеть включены компьютер верхнего уровня (АРМ оператора корпуса) и контроллер тока/напряжения серии (КТНС). АРМ операторов корпусов соединены по сети Ethernet с АРМ технолога.

### Блок управления ТРОЛЬ

Блоки управления ТРОЛЬ производятся на заводе СПУ (Санкт-Петербург). При проектировании блока и выборе комплектующих учитывались многие типичные для России неисправности. Например, кнопки ручного управления и пускатели двигателей не имеют движущихся частей, что исключает их залипание от попадания влаги или грязи. Реализована, разумеется, и многоуровневая программная защита от различных аппаратных сбоев.

Простота и удобство обслуживания обеспечиваются модульной конструкцией на разъёмах, что делает возможным быструю замену отдельных блоков.

БУ ТРОЛЬ установлены в корпусе электролиза рядом с электролизёрами. Размеры блока составляют 1600х600х400 мм (высота/ширина/глубина). Внешний вид блока управления системы ТРОЛЬ приведен на рис. 3.

В нижней части блока находятся силовые модули управления двигателями привода анодной рамы, а также клеммные колодки, к которым подключается оборудование электролизёра и подводится питание БУ. На дверце нижней части расположены автоматы-расцепите-

ли питания двигателей.

В верхней части блока (рис. 4) находится контроллер MicroPC фирмы Otagon вместе с модулями оптической развязки фирмы Grayhill. Все входы

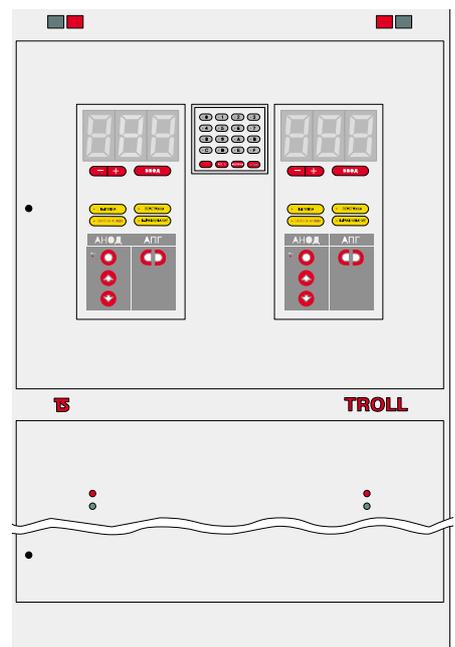


Рис.3. Внешний вид блока управления системы ТРОЛЬ

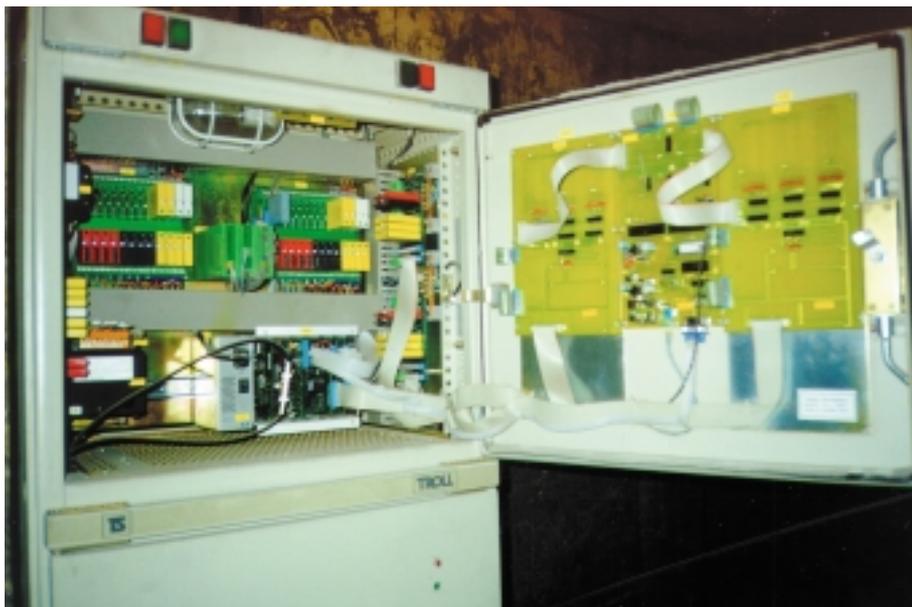


Рис. 4. Верхний отсек блока управления ТРОЛЬ с открытой дверцей

и выходы блока управления имеют гальваническую развязку. В верхней же части находятся модули термостатирования БУ, в том числе нагреватели и вентиляторы, обеспечивающие постоянную положительную температуру внутри блока.

На дверце верхней части расположена панель индикации и управления блоком, состоящая из двух светодиодных дисплеев индикации параметров работы электролизёров, совмещенных с мембранными клавиатурами управления электролизёрами. Посередине расположена мембранная клавиатура выбора режима индикации. Панель, управляемая отдельным микроконтроллером, позволяет:

- отображать до 64 различных параметров работы электролизёров и блока управления;
- задавать уставочные значения параметров управления электролизёрами;
- осуществлять переключение между ручным, автоматическим и специальными режимами управления;
- управлять в ручном режиме двигателями анода и системами автоматической подачи глинозема.

Следует отметить, что все сигналы ручного управления проходят через контроллер MicroPC. Надежность канала (клавиатура→контроллер MicroPC→модули опторазвязки→оборудование) не уступает применяемым обычно для этого релейным схемам, при этом контроллер «знает» о ручных воздействиях, протоколирует их и учитывает при дальнейшем автоматическом управлении, а также может ограничивать или запрещать их при определенных условиях, исправляя грубые ошибки персонала.

Над панелью размещены лампы индикации 3-фазного напряжения двигателей и аварийной сигнализации.

В состав контроллера блока управления входят (рис. 5) процессорная плата 5025A (процессор – i386SX-25 МГц; оперативная память – 1 Мбайт; энергонезависимая память – 512 кбайт; флэш-диск – 512 кбайт; операционная система – ROM-DOS 6.22), две платы ввода-вывода 5648 и сетевая плата Arcnet 5560. Контроллер получает сигналы с 2 аналоговых и 25 дискретных входов и управляет 22 дискретными выходами (все входы/выходы с оптической развязкой 1,5÷4 кВ). Дополнительно может быть установлено до 14 аналоговых входов, 34

дискретных входов и 6 дискретных выходов. Следует отметить, что характеристики контроллера на порядок превосходят аналогичные параметры других систем, где типичный контроллер имеет быстродействие 16-разрядного процессора с тактовой частотой 10-16 МГц при памяти в 16-64 кбайт. Избыточная же мощность контроллера MicroPC позволила реализовать некоторые алгоритмы, принципиально невозможные в других системах. Блоки поставляются с оригинальным программным обеспечением, соответствующим реальному оборудованию завода (оперативная доработка базового ПО в соответствии с ТЗ заказчика). Программное обеспечение контроллера является открытым. Добавление новых или изменение существующих алгоритмов возможно не только при поставке специалистами АО ТоксСофт, но и заводскими программистами в процессе эксплуатации.

Разработанные для системы алгоритмы были проверены и отработаны на Саянском алюминиевом заводе в течение двух лет. В процессе отработки не было ни одного сбоя в работе алгоритмов и была подтверждена эффективность их работы с различными типами электролизёров.

### Контроллер тока и напряжения серии (КТНС)

Контроллер тока и напряжения серии установлен на Кремниевой Преобразующей Подстанции (КПП) серии. Конструктивно КТНС представляет собой шкаф в исполнении IP54, в котором ус-

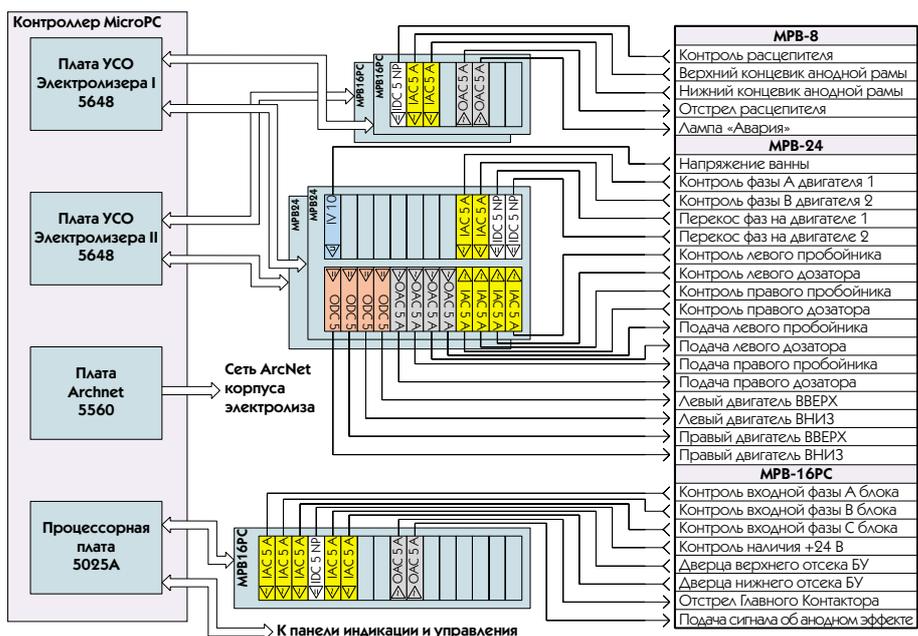


Рис. 5. Структурная схема контроллера блока управления ТРОЛЬ. Показаны сигналы для одного из двух обслуживаемых блоком электролизёров

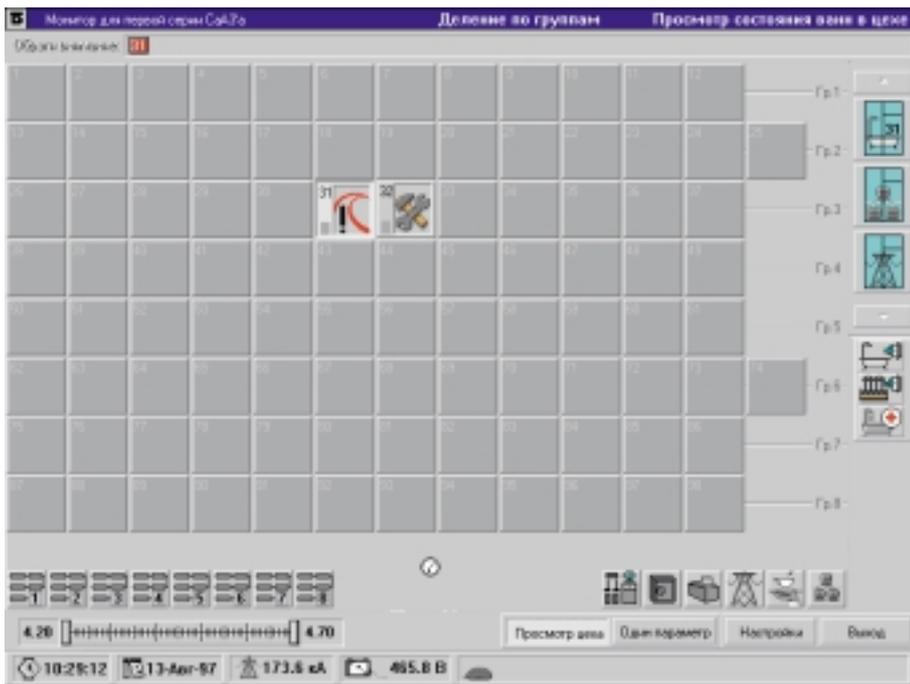


Рис. 6. Программа АРМ оператора корпуса в режиме просмотра всех ванн в корпусе

тановлен контроллер MicroPC фирмы Octagon и аналоговые модули ввода. На вводы подаются токовые сигналы с датчиков тока серии и напряжения корпусов. КТНС включен в единую локальную сеть с БУ корпуса.

### Технологическая сеть Arcnet

БУ объединены в общую для каждого корпуса сеть Arcnet. Сеть реализована по совмещенной схеме «звезда» и «шина». В каждом корпусе стоит концентратор, к которому оптоволоконным кабелем подключены 8 групп БУ. В тех БУ, к которым подходит оптический кабель, установлены трансиверы, преобразующие оптический сигнал в сигнал для коаксиального кабеля. Шина между блоками внутри группы реализована на коаксиальном кабеле с оптоволоконными переключками. Такое решение архитектуры сети обеспечивает

- минимизацию возможных гальванических связей по сетевому кабелю. Коаксиальным кабелем, по которому может возникнуть гальваническая связь, соединены блоки, работающие не более чем с 6 последовательными ваннами, падение напряжения на которых не превышает обычно 30 В;
- гальваническую изоляцию помещений операторов серии и КПП от потенциала серии;
- достижение значительной суммарной протяженности сетевых линий (длина корпуса составляет порядка 700 м) при длине коаксиальных сегментов не более 100 – 120 м, что обес-

печивает устойчивую работу сети Arcnet.

К этому же концентратору оптоволоконным кабелем подключены АРМ оператора корпуса и контроллер тока/напряжения серии. При этом в КТНС установлены четыре сетевые платы, благодаря чему один КТНС включен в две независимые сети корпусов.

### АРМ оператора

АРМ оператора корпуса включено в сеть Arcnet корпуса. Оно берет на себя

большую часть работы персонала, уменьшая возможность ошибок и неточностей в работе операторов. Программное обеспечение АРМ оператора реализовано в среде DOS/ DPMI32 с использованием библиотеки графического интерфейса GWM разработки Токс-Софт. АРМ оператора выполняет следующие основные функции:

- одновременно показывает на экране состояние всех ванн в корпусе (рис. 6) и/или подробные характеристики и параметры работы подсистем одной ванны (рис. 7);
- звуковым сигналом и сообщением на экране предупреждает оператора о возникновении нештатных ситуаций;
- в большинстве нештатных ситуаций производит голосовое оповещение в корпусе об их возникновении;
- дает оператору возможность изменять уставки, управлять движением анода, работой АПГ и других подсистем;
- проводит самодиагностику и проверку работоспособности аппаратуры и программ нижнего уровня.

### АРМ технолога

Компьютеры операторов корпусов соединены по сети Ethernet с АРМ технолога (компьютером базы данных), предназначенным для накопления данных, печати сводок и анализа работы серии. Программа АРМ технолога, разработанная на базе Borland Delphi, работая в автономном режиме, автоматически составляет и распечатывает сводки. При этом оператор и технолог могут в любой момент получить доступ к дан-

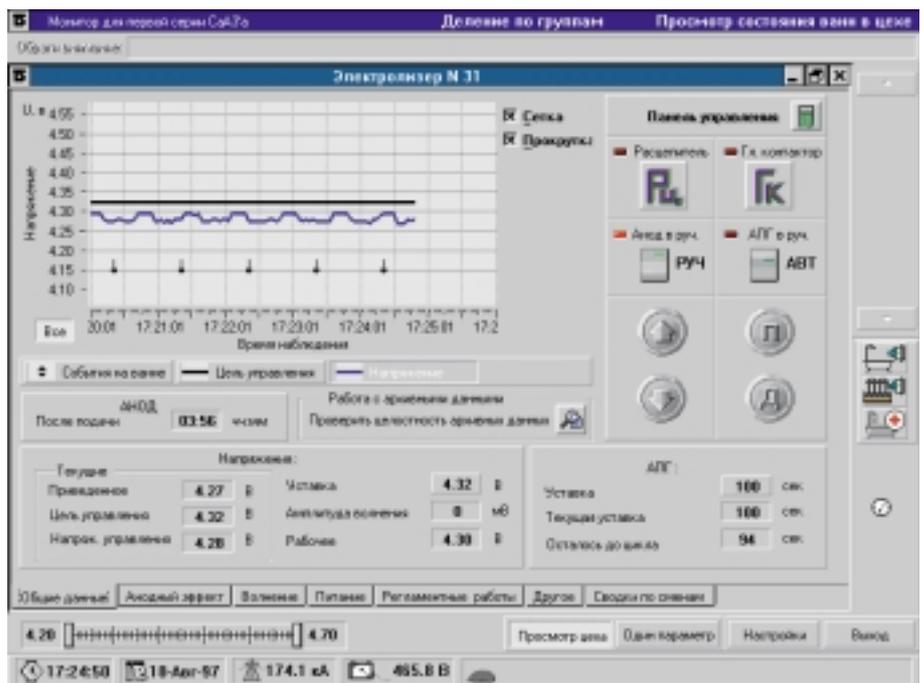


Рис. 7. Программа АРМ оператора корпуса в режиме просмотра одной ванны

ным о работе алюминиевого производства. Работая в автономном режиме, программа АРМ технолога

- сохраняет информацию о работе всех электролизёров серии в течение 3 лет для последующей обработки и анализа;
- составляет и печатает сводки за смену и сутки;
- проводит самопроверку и устраняет возможные неполадки.

Программа позволяет технологу

- работать с базой данных процесса электролиза, создаваемой системой, то есть генерировать отчеты, сводки, проводить специальный анализ;
- видеть на экране и одновременно печатать результаты анализа;
- просматривать на экране и печатать цветные графики работы как отдельных электролизёров, так и корпуса или серии в целом.

### Заключение

Применение контроллеров MicroPC в качестве основной интеллектуальной части системы производства алюминия обеспечило

- надежную работу оборудования в особых технологических условиях – мощном магнитном поле, широком температурном диапазоне, отсутствии возможности заземления, наличии в воздухе химически активной пыли, сильных электромагнитных помехах;
- мощные вычислительные ресурсы, позволившие реализовать технологические, контрольные и сервисные алгоритмы на качественно новом уровне, обработку и сохранение объемов информации, сравнимых с обрабатываемой специально сконструированными экспериментальными системами;

- возможность разработки программного обеспечения в привычной для программистов среде DOS, его отладки стандартными средствами, использования распространенных библиотек, драйверов и утилит;
- совместимость программного обеспечения всех уровней системы, его полную открытость для пользователей и возможность оперативной доработки и адаптации. ●